

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑪ DE 30 39 136 A 1

⑤1 Int. Cl. 3:

~~G 01 R 15/07~~

G 01 R 15/07

②1 Aktenzeichen:
②2 Anmeldetag:
④3 Offenlegungstag:

P 30 39 136.7
16. 10. 80
23. 7. 81

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
12.01.80 JP P2274-80 14.07.80 JP P96617-80

⑦1 Anmelder:
Sumitomo Electric Industries, Ltd., Osaka, JP

⑦4 Vertreter:
Grünecker, A., Dipl.-Ing.; Kinkeldey, H., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.;
Stockmair, W., Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Ae.E. Cal Tech;
Schumann, K., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Jakob, P., Dipl.-Ing.;
Bezold, G., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 8000
München

⑦2 Erfinder:
Tada, Koji; Nanba, Hirokuni; Kuhara, Yoshiki; Tatsumi,
Masayoshi, Osaka, JP

⑤4 Einrichtung zum Messen einer Spannung und eines elektrischen Feldes unter Verwendung von Licht

DE 30 39 136 A 1

DE 30 39 136 A 1



PATENTANWÄLTE

3039136

A. GRÜNECKER

DIP.-ING.

H. KINKELDEY

DIP.-ING.

W. STOCKMAIR

DIP.-ING. - AMERIKALISCH

K. SCHUMANN

DIP. PER NAT. - DIPL.-PHYS.

P. H. JAKOB

DIP.-ING.

G. BEZOLD

DIP. PER NAT. - DIPL.-CHEM.

8 MÜNCHEN 22
MAXIMILIANSTRASSE 43

P 15 529-46/L

SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.

No. 15, Kitahama 5-chome, Higashi-ku,
Osaka-shi, Osaka, Japan

Einrichtung zum Messen einer Spannung und eines
elektrischen Feldes unter Verwendung von Licht.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Einrichtung zum Messen einer Spannung und eines elektrischen Feldes unter Verwendung von Licht bestehend aus einem Polarisator, einem elektro-optischen Kristall, einer Wellenlängenplatte und einem Analysator, die in der angegebenen Reihenfolge in Fortpflanzungsrichtung des verwandten Lichtes angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß der elektro-

130030/0733

optische Kristall (3) aus einem Material besteht, welches zu einem kubischen System gehört.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenlängenplatte (4) eine Lambda-Viertel-Wellenlängenplatte umfaßt.

3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Material aus der Wismut-Siliziumoxid umfassenden Gruppe ausgewählt ist.

4. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Material $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ ist.

5. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Material Wismut-Orthosilicat ist.

6. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Material aus der Wismutgermaniumoxid umfassenden Gruppe ausgewählt ist.

7. Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Material $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ ist.

8. Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Material Wismutorthogermanat ist.

9. Einrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine mit dem elektro-optischen Kristall (3) gekoppelte Elektrodeinrichtung vorgesehen ist, um eine Spannung an diesem anzulegen.

B e s c h r e i b u n g

Die Erfindung betrifft Einrichtungen zur Spannung- und elektrischen Feldmessung unter Verwendung optischer Polarisation. Insbesondere betrifft die Erfindung eine Meßeinrichtung für eine Spannung und ein elektrisches Feld, dessen Temperaturcharakteristik verbessert ist.

Grundsätzlich arbeitet eine Meßeinrichtung von der Art, die die Erfindung betrifft, dadurch, daß eine an einen elektrooptischen Kristall angelegte Spannung gemessen wird. Eine solche Meßeinrichtung kann als eine Spannungsmeßeinrichtung verwandt werden, wenn Elektroden, die mit beiden Flächen des elektro-optischen Kristalls verbunden sind, direkt mit Anschlußklemmen verbunden sind, an denen die zu messende Spannung angelegt ist, und sie kann als eine Einrichtung zum Messen eines elektrischen Feldes verwandt werden, wenn sie in einem zu messenden, elektrischen Feld angeordnet wird, wobei die Elektroden entfernt sind.

Ein Beispiel einer lichtverwendenden Spannungsmeßeinrichtung ist in Fig. 1A gezeigt. Ein Polarisator 2, ein elektro-optischer Kristall 3, eine Lambda-Viertel-Wellenlängenplatte 4 und ein Analysator 5 sind in der angegebenen Reihenfolge in der Fortpflanzungsrichtung des von einer Lichtquelle 1 ausgehenden Lichtes angeordnet. Eine von einer Spannungsquelle 6 erzeugte, zu messende Spannung wird an den elektro-optischen Kristall 3 angelegt.

Der Polarisator 2 wandelt das Licht von der Lichtquelle 1 in linearpolarisiertes Licht um und der elektrooptische Kristall 3 bewirkt an dem linearpolarisierten Licht eine Phasenänderung, wodurch elliptisch polarisiertes Licht entsteht. Wenn die zu messende Spannung, im folgenden als Meßspannung dort bezeichnet, wo es sinnvoll ist, gleich Null ist, weist der elektrooptische Kristall Brechungsindizes n_x und n_y auf, und wenn die Meßspannung gleich V Volt beträgt, werden die Brechungsindizes zu $n_x - kV$ und $n_y - kV$ verändert, wobei die Brechungsindizes n_x und n_y diejenigen für eine lineare Polarisation in der x-Richtung bzw. für eine lineare Polarisation in der y-Richtung sind und k eine Konstante bedeutet. Wenn eine lineare Polarisation in einer Richtung x_1 in die Vektorkomponenten in der x- und y-Richtung zerlegt wird, sind die Brechungsindizes in der x- und y-Richtung verschieden, so daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in den beiden Richtungen unterschiedlich ist. Aufgrund dieser Tatsache wird das linearpolarisierte Licht in elliptisch polarisiertes Licht wegen des Phasenunterschiedes zwischen den x- und y-Richtungskomponenten umgewandelt. Der Analysator 5, welcher in einer quer verlaufenden Nicolstellung bezüglich des Polarisators 2 angeordnet ist, ändert die Amplitude des elliptisch polarisierten Lichtes.

Wenn die auf den Polarisator 2 einfallende Lichtmenge mit P_{in} und die Größe des Verlustes im Meßabschnitt mit ℓ bezeichnet wird, kann die Beziehung zwischen der Lichtaustrittsmenge P_{out} und einer zu messenden Spannung V_{in}

durch die folgende Gleichung (1) ausgedrückt werden, wenn die Lambda-Viertel-Wellenlängenplatte 4 fortgelassen ist

$$P_{\text{aus}} = \ell \cdot P_{\text{in}} \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{V_{\text{in}}}{V_{\pi}} \right), \quad (1)$$

worin V_{π} die Halbwellen-Spannung bedeutet, welche von der Art des verwandten Kristalls und der verwandten Orientierung abhängt.

Es ist wünschenswert, in einem nahezu linearen Abschnitt der Arbeitskurve gemäß Gleichung (1) zu arbeiten. Zu diesem Zweck ist es erforderlich den Betrieb zu dem Punkt $\lambda/4$ zu verschieben, welcher in Fig. 1B gezeigt ist. Um dies durchzuführen, ist die Lambda-Viertel-Wellenlängenplatte 4 vorgesehen, welche als eine optische Verschiebungseinrichtung dient. Wenn die Lambda-Viertel-Wellenlängenplatte 4 eingebracht wird, kann durch Abwandlung der Gleichung (1) die folgende Gleichung erhalten werden:

$$\begin{aligned} P_{\text{aus}} &= \ell \cdot P_{\text{in}} \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} \frac{V_{\text{in}}}{V_{\pi}} + \frac{\pi}{4} \right) \\ &= \frac{1}{2} \ell \cdot P_{\text{in}} \left[1 + \sin \left(\pi \frac{V_{\text{in}}}{V_{\pi}} \right) \right]. \end{aligned}$$

Im Bereich von $\pi \frac{V_{\text{in}}}{V_{\pi}} \ll 1$, kann die Gleichung (1) zu der folgenden Gleichung (2) umgeschrieben werden:

$$P_{\text{aus}} \approx \frac{1}{2} \ell \cdot P_{\text{in}} \left[1 + \pi \frac{V_{\text{in}}}{V_{\pi}} \right]. \quad (2)$$

Die Bedeutung der Gleichung (2) ist in der Fig. 2 dargestellt. Das optische Ausgangssignal von dem Analysator wird durch ein Element, wie z.B. eine PIN Fotodiode in ein elektrisches Signal umgewandelt.

Die Spannungsmessung wird gemäß den vorhergehend beschriebenen Prinzipien durchgeführt. Zur Spannungsmessung können KDP, ADP, LiNbO_3 und LiTaO_3 Kristalle als elektro-optischer Kristall ³ verwandt werden. Jedoch bringt die Verwendung dieser Kristalle Nachteile mit sich, die darin bestehen, daß die Meßeinrichtung dann eine nichtzufriedenstellende Temperaturcharakteristik aufweist, weil die Brechungsindizes n_x und n_y etwas verschieden sind und sie allgemein verschiedene Temperaturcharakteristiken aufweisen. Mit anderen Worten ausgedrückt, bedeutet dies, daß solche Kristalle eine natürliche Doppelbrechung aufweisen mit z.B. $n_x = n_e - kV$ und $n_y = n_o + kV$ die jeweils eine unterschiedliche Temperaturcharakteristik haben. Dies kann man aus den graphischen Darstellungen in den Fig. 3A - 3C erkennen, welche Beispiele von Temperaturabhängigkeit der normalen und der anormalen Strahlen zeigt.

Um diese Temperaturinstabilität zu kompensieren, wurde ein sogenannter "Temperaturkompensation-Typ" vorgeschlagen, wobei zwei Kristalle A und B miteinander gekoppelt und ihre Achsen in verschiedenen Richtungen orientiert sind. Mit diesem Typ kann das durch den Analysator 5 hindurchgehende Licht durch die folgende Gleichung (3) beschrieben werden:

$$A^2 \sin^2 \left[\frac{\pi}{2} \frac{n_l^3 \gamma_c}{\lambda_0} V \left(\frac{l_1}{d_1} + \frac{l_2}{d_2} \right) + \frac{\pi}{\lambda} (n_o - n_e) (l_1 - l_2) + \psi_o' - \psi_e' \right] \quad (3)$$

worin ψ_o' der Polarisationswinkel für ordentliches Licht, ψ_e' der Polarisationswinkel für außerordentliches Licht und γ_c die Pockel'sche Konstante ist. Wenn die Kristalle genau bearbeitet sind, so daß die Länge l_1 des Kristalls A gleich der Länge l_2 des Kristalls B ist, kann die Temperaturabhängigkeit des Terms, welcher den Unterschied zwischen dem Brechungsindex n_o eines ordentlichen Strahles und den Brechungsindex n_e eines außerordentlichen Strahles enthält, theoretisch aufgehoben werden.

Jedoch ist es in der Praxis äußerst schwierig, Kristalle so genau zu bearbeiten, daß die Längen l_1 und l_2 einander genau gleich sind, und die Kristalle miteinander zu verbinden und die miteinander verbundenen Kristalle in einem Gehäuse zu befestigen, ohne die Kristalle einer Spannung auszusetzen. Somit ist es also äußerst schwierig eine Einrichtung mit einem solchen "Temperaturkompensation-Typ" herzustellen.

Fig. 5 zeigt eine Temperaturcharakteristikkurve einer Spannungsmeßeinrichtung mit einem "Temperaturkompensation-Typ", bei der ein LiNbO_3 Kristall verwandt wird. In Fig. 5 sind auf der vertikalen Achse relative Werte der Ausgangsspannung/mittlere empfangene Lichtmenge aufgetragen, nämlich

$$\frac{1}{2} l P_{in} \pi \frac{V_{in}}{V_{\pi}} / \frac{1}{2} l P_{in} = \pi \frac{V_{in}}{V_{\pi}},$$

gemäß Gleichung (2).

Hinsichtlich der vorhergehend beschriebenen Schwierigkeiten, die bei einer herkömmlichen Meßeinrichtung für eine Spannung und ein elektrisches Feld auftreten, ist es eine Zielsetzung der Erfindung, eine Meßeinrichtung für eine Spannung und ein elektrisches Feld zu schaffen, bei der elektro-optische Kristall eine große Temperaturstabilität aufweist und welche ohne Schwierigkeiten hergestellt werden kann.

Die vorhergehend genannte Zielsetzung und andere Zielsetzungen der Erfindung können dadurch erreicht werden, daß eine Einrichtung zum Messen einer Spannung und eines elektrischen Feldes vorgesehen wird, welche einen Polarisator, einen elektro-optischen Kristall, eine Wellenplatte und einen Analysator umfaßt, die in Fortpflanzungsrichtung des verwandten Lichtes angeordnet sind, wobei erfindungsgemäß der elektro-optische Kristall aus Wismutsiliciumoxid ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, $\text{Bi}_4\text{Si}_3\text{O}_{20}$) oder Wismutgermaniumoxid ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) besteht. Wismutsiliciumoxid und Wismutgermaniumoxid sind einander hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften ähnlich, wie es sich aus dem folgenden noch näher ergibt.

Durch die Erfindung wird also eine Einrichtung zum Messen einer Spannung und eines elektrischen Feldes geschaffen, wobei Licht als Arbeitsgröße verwandt wird. Ein elektro-optischer Kristall, eine Lambda-Viertel-Wellenlängenplatte und ein Polarisationsanalysator sind in dieser Reihenfolge in Fortpflanzungsrichtung

des verwandten Lichtes angeordnet. Eine Spannung kann an dem elektro-optischen Kristall über an ihm angeordnete Elektroden angelegt werden. Der elektro-optische Kristall gehört zu einem kubischen System, wie z.B. Wismutsiliciumoxid oder Wismutgermaniumoxid.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1A ein Diagramm zur Erläuterung, welches die Anordnung einer herkömmlichen Einrichtung zum Messen einer Spannung und eines elektrischen Feldes darstellt,

Fig. 1B eine Kurvendarstellung zur Beschreibung einer Lambda-Viertel-Wellenplatte,

Fig. 3A Kurvendarstellungen von drei Beispielen der bis 3B Temperaturabhängigkeitseigenschaften der ordentlichen und außerordentlichen Strahlen,

Fig. 4 ein Diagramm zur Erläuterung der Anordnung eines elektro-optischen Kristalls vom "Temperaturkompensation-Typ",

Fig. 5 Diagramme der Temperaturcharakteristiken, die und 10 die Änderung der Ausgangsspannung/mittlere empfangene Lichtmenge mit der Temperatur zeigen,

- Fig. 6 ein Diagramm zur Erläuterung, welches ein Beispiel einer Einrichtung zur Spannungsmessung zeigt, bei dem ein Wismutsiliciumoxid ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$)-Kristall nach der Erfindung verwandt wird,
- Fig. 7 eine graphische Darstellung, die die Änderung des Brechungsindex-Änderungsfaktors mit der Wellenlänge zeigt,
- Fig. 8A eine schematische Darstellung eines Testschaltkreises,
- Fig. 8B eine graphische Darstellung der Ausgangsspannung-Eingangsspannung-Arbeitskurve des Testschaltkreises, der in Fig. 8A gezeigt ist, und
- Fig. 9 Kurvendarstellungen einer Eingangsspannung und 11 und einer Ausgangsspannung.

Eine bevorzugte Ausführungsform einer Meßeinrichtung, die gemäß der Erfindung ausgebildet ist, wird im wesentlichen unter Bezugnahme auf die Fig. 6 bis 9 beschrieben.

Ein optisches System, welches aus einem Polarisator 2, einem elektro-optischen Kristall 7, einer Lambda-Viertel-Wellenplatte 4 und einem Analysator 5 aufgebaut ist, die in Fortpflanzungsrichtung des einfallenden Lichtes

angeordnet sind, ist in Fig. 6 dargestellt. Bei diesem System besteht der elektro-optische Kristall 7 aus Wismutsiliciumoxid ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, $\text{Bi}_4\text{Si}_3\text{O}_{12}$) oder Wismutgermaniumoxid ($\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$). Die Temperaturabhängigkeit des elektro-optischen Kristalls aus Wismutsiliciumoxid oder Wismutgermaniumoxid ist verglichen mit bisherigen Ausbildungen wegen der folgenden Gründe verringert:

(1) Wismutsiliciumoxid und Wismutgermaniumoxid gehören zu einem kubischen System, welches keine natürliche Doppelbrechung aufweist. Demgemäß ist die vorhergehend beschriebene Temperaturkompensationstechnik nicht erforderlich, wenn ein Kristall des bevorzugten Types verwandt wird.

(2) Wie sich ohne weiteres aus Gleichung (2) ergibt, muß die Temperaturabhängigkeit des Terms V_{π} in Betracht gezogen werden. Im Falle von Wismutsiliciumoxid und Wismutgermaniumoxid ist V_{π} gleich $\lambda_o/2n^3 \gamma_{41}$ für die tatsächlich verwandte Kristallorientierung, wobei γ_{41} die Pockel'sche Konstante für Kristalle des kubischen Gittersystems ist. Deshalb muß die Temperaturabhängigkeit des Terms n^3 und von γ_{41} betrachtet werden. Es scheint, daß keine Meßdaten für die Größe γ_{41} veröffentlicht worden sind. Jedoch beträgt für n^3 aufgrund von zugängigen Veröffentlichungen, wie es in Fig. 7 gezeigt ist, der Temperaturänderungsfaktor des Brechungsindex:

$$dn/dT \approx 3 \times 10^{-5} \quad \text{und}$$

$$\frac{dV}{dT} = \frac{\lambda_o}{2\gamma_{41} n_o^4} \frac{-3}{n_o} \frac{dn}{dT} = V_{\pi} \frac{-3}{n} \frac{dn}{dT} \approx V_{\pi} \times 10^{-5}$$

Obgleich keine tatsächlichen Meßwerte für die Temperaturabhängigkeit von γ_{41} zugänglich sind, kann abgeschätzt werden, daß eine Änderung in der Größenordnung von 0,01% pro Grad bei dem Term dV_{π}/dT vorliegt.

Spannungsmessungen wurden mit einem Schaltkreis ausgeführt, der gemäß Fig. 8A ausgebildet war, wobei als Ergebnis eine Eingangsspannung V_{in} gegen die Ausgangsspannung V_{aus} Charakteristik mit ausgezeichneter Linearität erhalten wurde, wie es in Fig. 8B gezeigt ist.

Ferner hat es sich bestätigt, daß die Temperaturkurve von Ausgangsspannung/mittlere empfangene Lichtmenge in einem Temperaturbereich von -15°C bis 60°C bei einem Wismutsiliciumoxidkristall ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$) im wesentlichen flach ist, wie es in Fig. 5 gezeigt ist, und daß die Änderung innerhalb einiger Prozent liegt.

Gemäß der Erfindung werden, wenn durch den Polarisator 2 linear polarisiertes Licht auf den Wismutsiliciumoxid- oder Wismutgermaniumoxidkristall gegeben wird, die Brechungsindizes der x- und y-Achsen des Wismutsiliciumoxidkristalls zu $n_x = n - \Delta n$ und $n_y = n + \Delta n$ durch die angelegte Spannung geändert und die Lichtgeschwindigkeit durch den Kristall ändert sich entsprechend. Jedoch weist dieser Kristall keine natürliche Doppelbrechung auf und deshalb ändern sich die Werte n auf der x- und y-Achse überhaupt nicht. Das von dem Kristall austretende Licht ist bezüglich der Phase in Richtung der x- und y-Achse

verschieden, und das abgegebene Licht, welches durch die Lambda-Viertel-Wellenplatte 4 und den Analysator 5 hindurchgegangen ist, ist einer Amplitudenänderung proportional zu der angelegten Spannung ausgesetzt.

Der untere und der obere Teil der Fig. 9 zeigen Beispiele von Wellenformen einer 200 Hz sinusförmigen Eingangsspannung und seiner Ausgangsspannung.

Das System nach der Erfindung, welches einen Wismut-siliciumoxid oder Wismutgermaniumoxidkristall enthält, kann bei der Übertragung mittels optischer Fasern verwandt werden, indem die räumliche Lichtfortpflanzung verwandt wird.

Fig. 10 zeigt die Temperaturabhängigkeit eines elektro-optischen Kristalls aus Wismutorthosilicat ($\text{Bi}_4\text{Si}_3\text{O}_{12}$), welches ein Wismutsiliciumoxid ist, und Fig. 11 zeigt eine graphische Darstellung einer Eingangs- und einer Ausgangsspannung.

Aus den vorher beschriebenen Ausführungsformen nach der Erfindung ergibt es sich ohne weiteres, daß als elektro-optischer Kristall ein Wismutsiliciumoxid oder Wismutgermaniumoxidkristall eingesetzt ist. Da diese Kristalle zu einem kubischen System gehören, haben sie keine natürliche Doppelbrechung. Somit ist die bei herkömmlichen elektro-optischen Kristallen auftretende Temperaturabhängigkeit ausgeschlossen und es ist nicht erforderlich, einen elektro-optischen

Kristall vom "Temperaturkompensation-Typ" vorzusehen.

Ferner kann der Fühlerabschnitt, welcher das System ist, welches den elektro-optischen Kristall enthält, so ausgebildet werden, daß er kein Metall enthält. Deshalb kann mit einer Meßeinrichtung nach der Erfindung ein elektrisches Feld sicher und ohne Störung des elektrischen Feldes selbst gemessen werden.

FIG. 3A

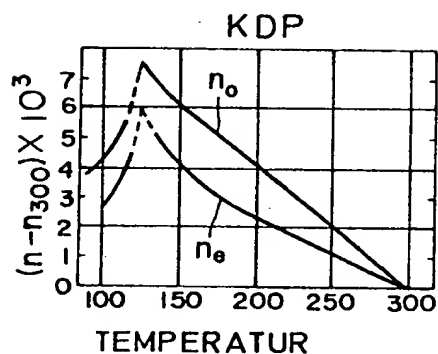


FIG. 3B

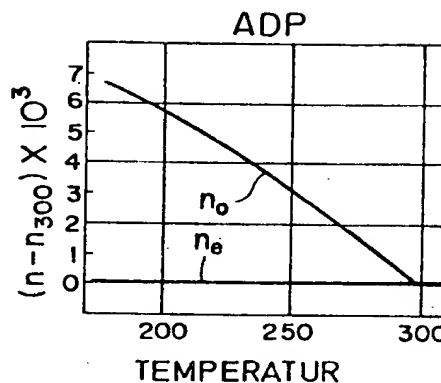


FIG. 3C

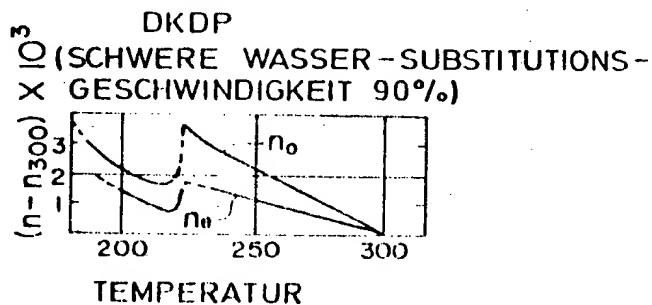


FIG. 4

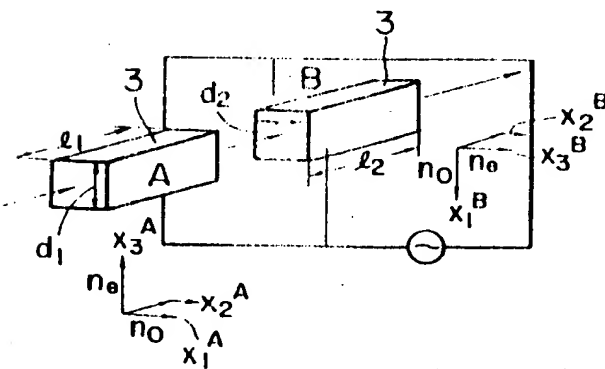


FIG. 5

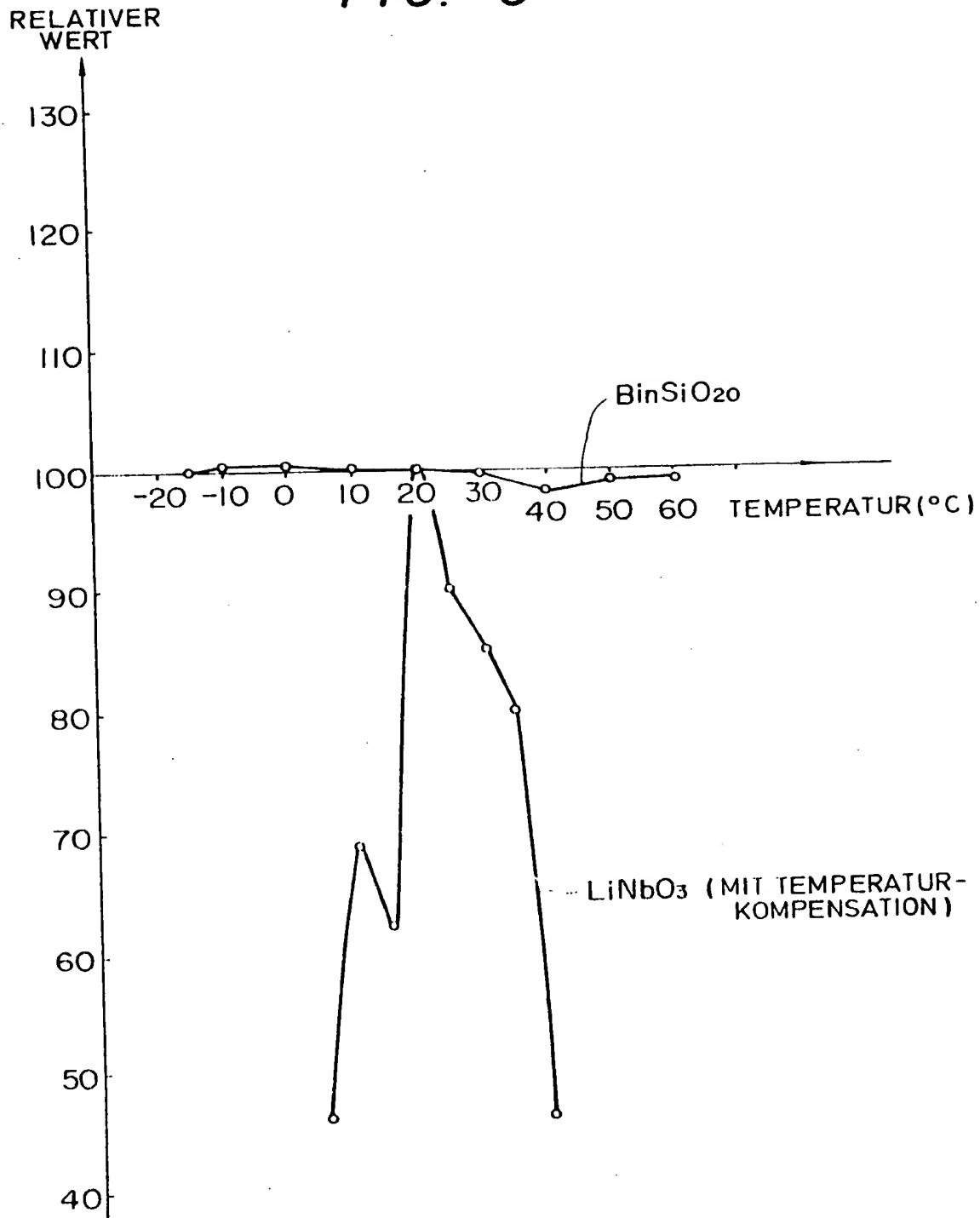


FIG. 6

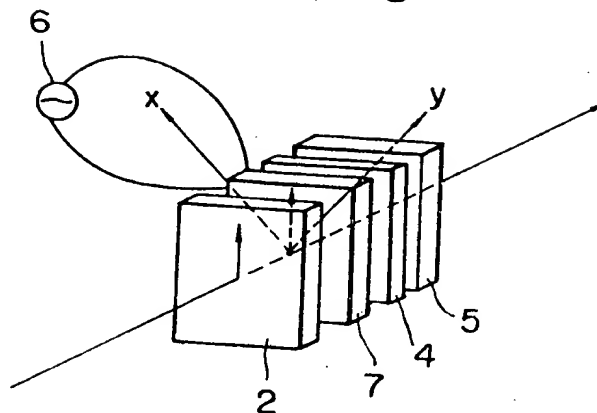


FIG. 7

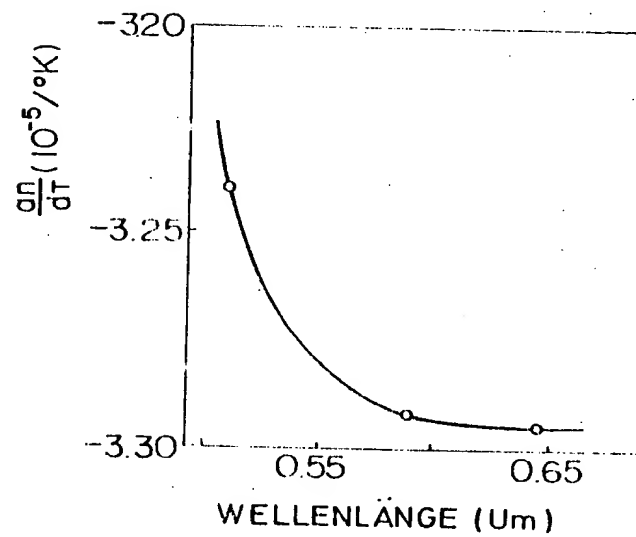


FIG. 9

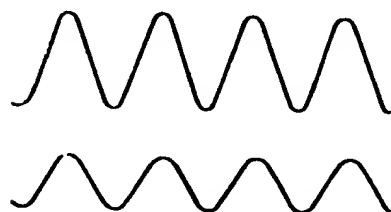


FIG. 8A

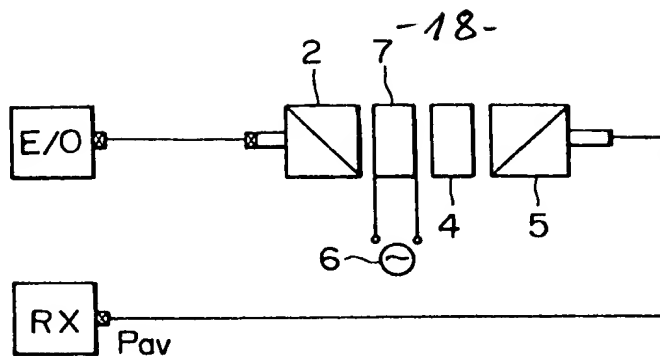


FIG. 8B

AUSGANGS -
SPANNUNG (mV rms)

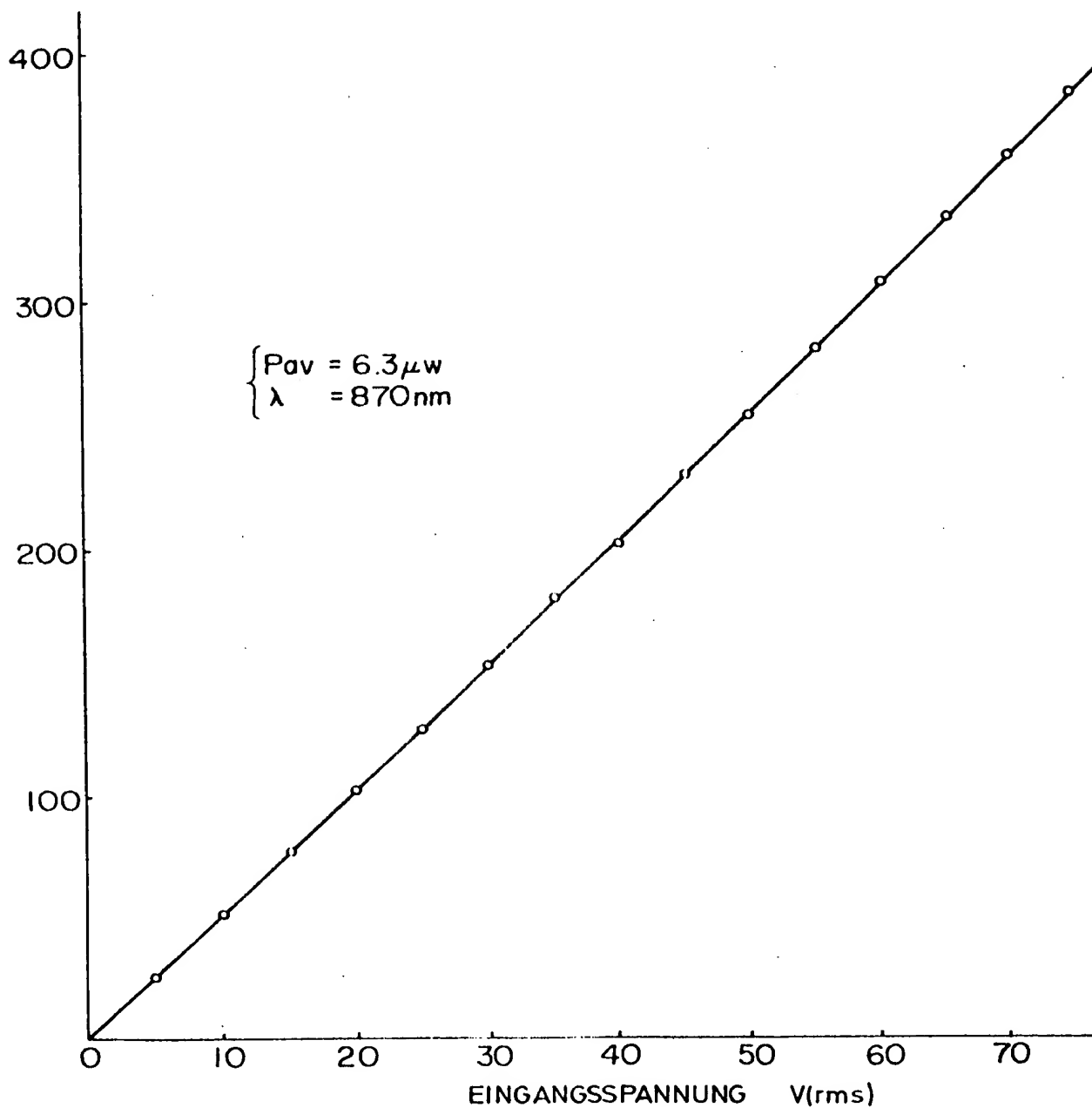
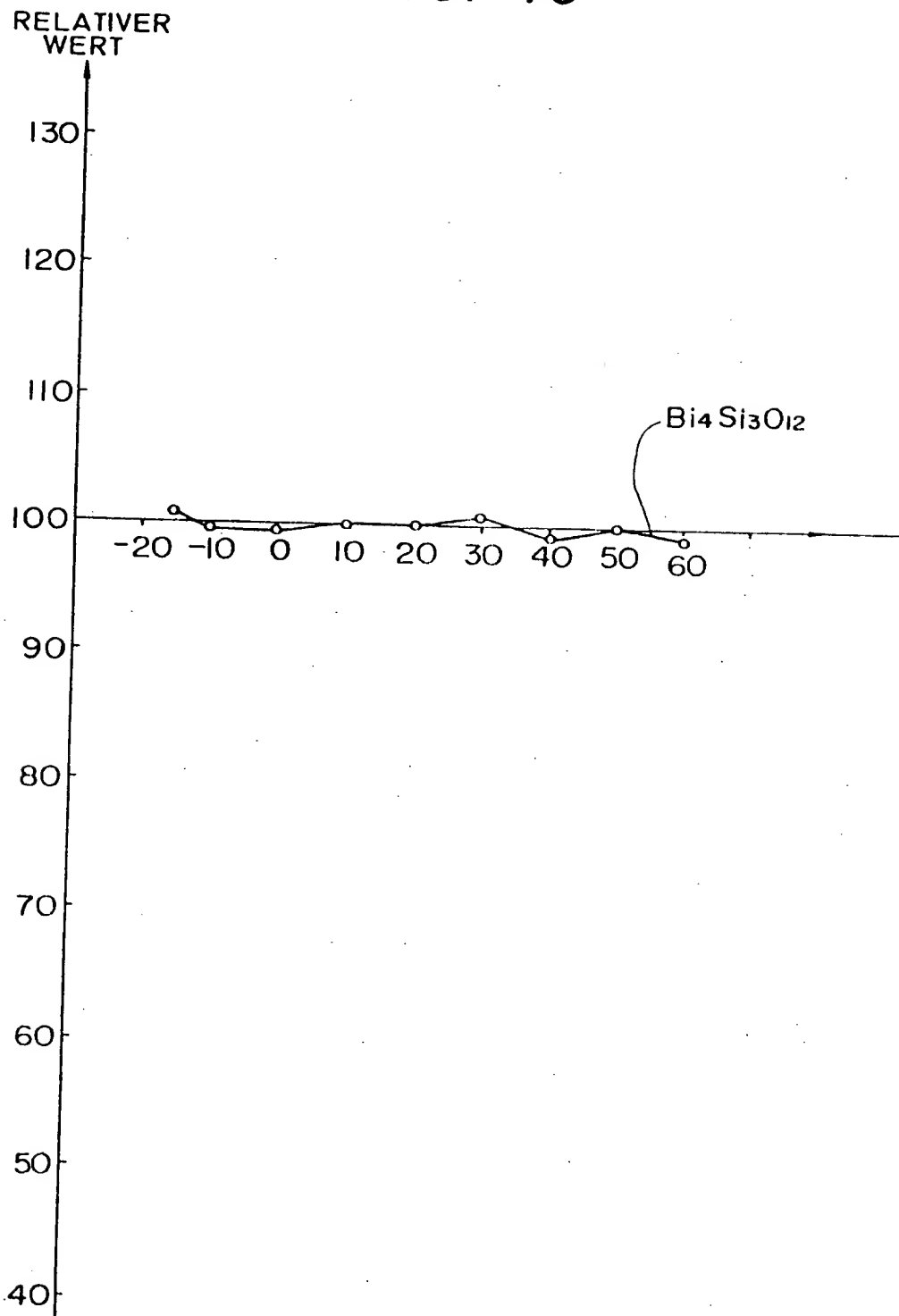
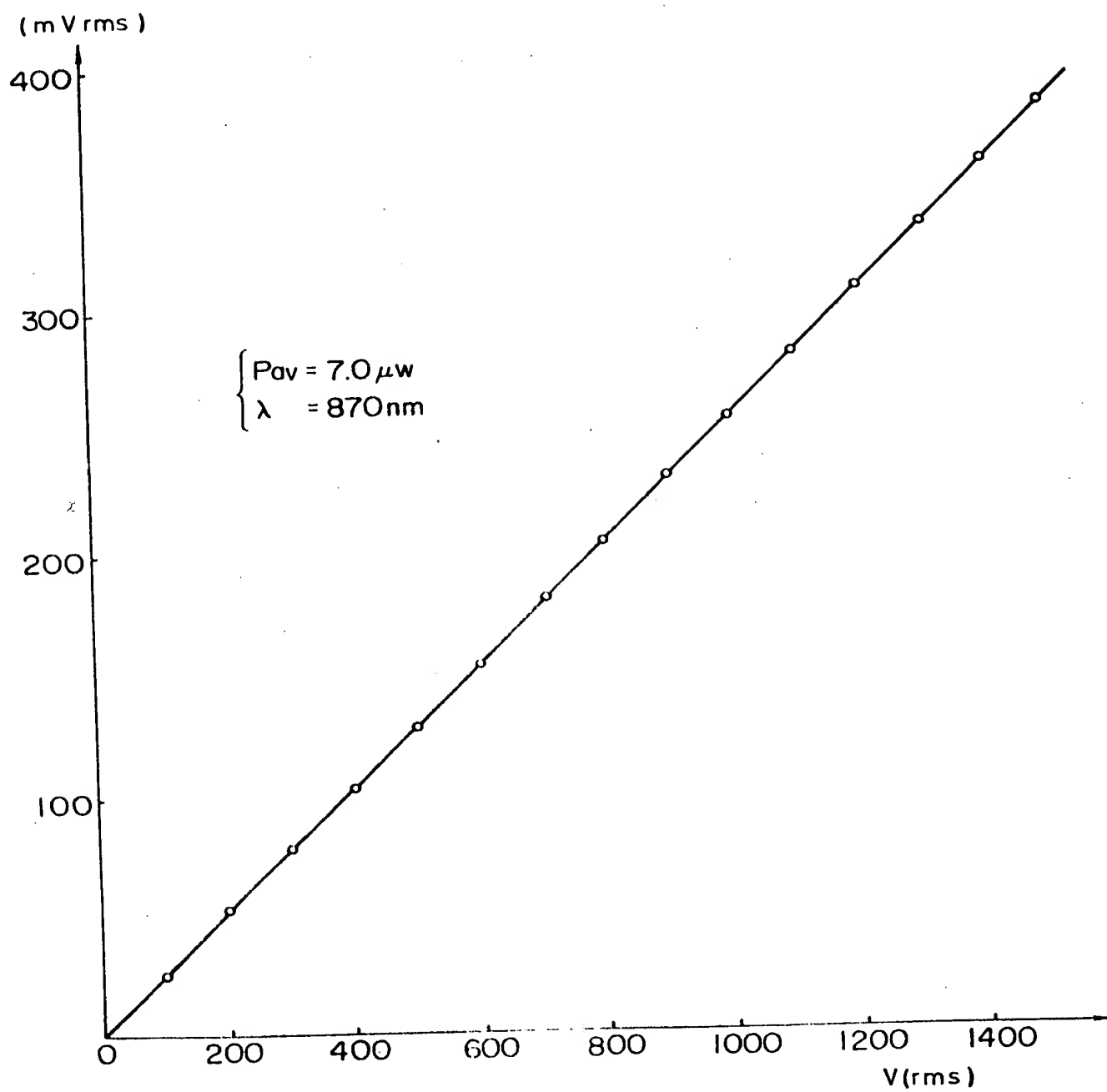


FIG. 10



130030/0733

FIG. 11



3039136

- 21 -

Nummer:

Int. Cl.³:

Anmeldetag:

Offenlegungstag:

30 39 136

G 01 R 1370

16. Oktober 1980

23. Juli 1981

FIG. 1A

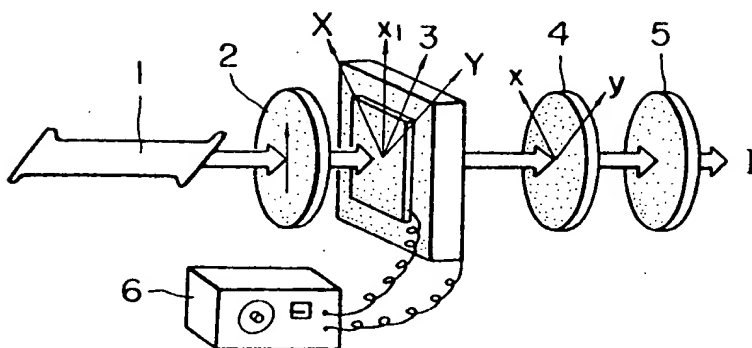


FIG. 1B

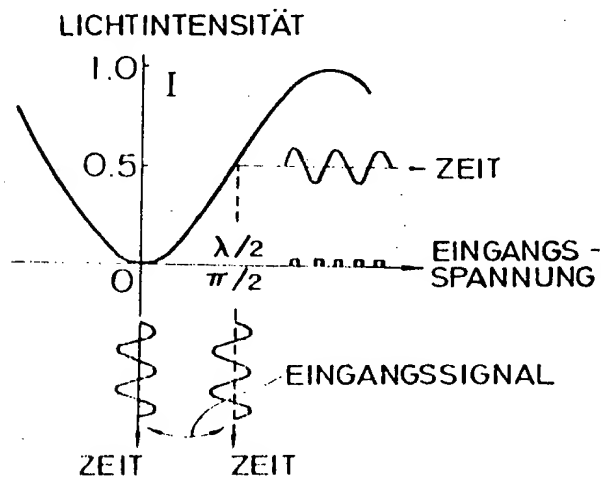
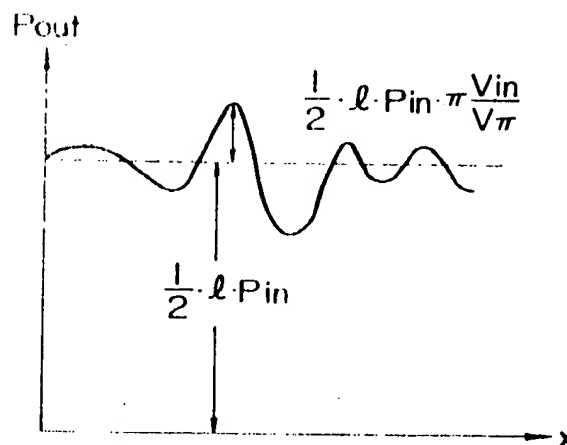


FIG. 2



130030/0733

This Page Blank (usps)